

Langjährige Ergebnisse über das pflanzenspezifische Aneignungsvermögen von Bodenwasser landwirtschaftlicher Kulturen auf einem tiefgründigen Braunerde-Tschernosem aus Löß

Steffi Knoblauch^{1*}

Zusammenfassung

Die geprüften Ackerkulturen beginnen weitgehend unabhängig von ihrer Art Bodenwasser unterhalb 50 cm Tiefe nach Erreichen von Bestandesschluss bzw. während des Übergangs zur Produktbildungsphase (Knospenbildung, Beginn Schossen) zu erschließen. Im weiteren Tiefenverlauf und der Intensität zeigen sich allerdings beträchtliche Unterschiede. Winterraps, Zuckerrübe und Winterweizen nehmen Bodenwasser bis in 2 m Tiefe auf, wobei Zuckerrübe eher eine intensive Ausschöpfung des Oberbodens und Winterraps einen stärkeren Tiefenentzug entwickelt. Silomais, Sommergerste und Ackerbohne nehmen eine Mittelstellung in Bezug auf den Tiefenentzug ein. Unter der Bedingung knappen Wasserdargebotes gilt es, das Bodenwasser tiefgründiger Lehmböden durch eine günstige Stellung in der Fruchtfolge optimal zu nutzen. Brachebegrünungen mit tiefwurzelnden Arten wie Phacelia sind ebenso wie unkontrolliert aufwachsender Unkrautbestand zu vermeiden, um das Bodenwasser für nachfolgende Kulturpflanzen zu schonen.

Summary

This paper describes the extraction patterns of available water by several field crops. The crops begin to extract water below 0.5 m during full covering independent of the species. In contrast there are great differences in the maximal depth and intensity of water extraction. Sugar beet, winter rape and winter wheat exhaust the available soil water to 2 m. Sugar beet takes up the water more intensively in the upper 1.2 m; instead winter rape withdraws the water deeper. Corn, summer barley and field beans take up water to 1.3 – 1.7 m with different intensity. In conclusion a change of crops in the crop rotation with differences in the depth and intensity of water extraction is necessary for an optimized management of soil water. Uncontrolled growth with weeds should to be avoided ensuring soil water for the following field crop.

Einleitung

Pflanzen unterscheiden sich in ihrem Aneignungsvermögen von Bodenwasser. Das betrifft den Verlauf der Tiefenausschöpfung, die Intensität der Bodenwasserausschöpfung und den Bodenwassergehalt im Wurzelraum, ab dem die Pflanze beginnt, die Transpiration einzuschränken. Neben der Wassernutzungseffizienz, die darüber Auskunft gibt, wie viel kg Trockenmasse je kg transpirierte Wassermenge produziert werden, geben diese Parameter Auskunft über das Potenzial der Pflanze, das Bodenwasser auszunutzen.

Prognosen des Klimawandels sagen für die Ackerbauregionen Ostdeutschlands in den kommenden Jahrzehnten eine Zunahme der Temperatur und eine ungünstigere Verteilung des Niederschlages mit einer Abnahme im Sommer und Herbst voraus. Der Faktor Wasser wird nicht nur für die landwirtschaftliche Produktion zu einem knappen Gut, sondern auch für andere Nutzer, wie Wasserwirtschaft und Industrie, vor allem aber auch für angrenzende Ökosysteme. Die sich daraus entwickelnden Interessenkonflikte sind abwägend zu lösen. Dafür bedarf es nicht nur detaillierter Kenntnisse über den Wasserbedarf und die Wassernutzungseffizienz landwirtschaftlicher Kulturen sondern auch über ihr Aneignungsvermögen von Bodenwasser. Im folgenden Beitrag werden dazu

Ergebnisse über den zeitlichen Verlauf und die Intensität der Bodenwasserausschöpfung ausgewählter Ackerkulturen aus langjährigen Messungen an der Lysimeteranlage Butteltstedt (Feldlysimeter, angrenzender Feldschlag) vorgestellt.

Material und Methoden

Der Versuchsboden ist ein tiefgründiger Braunerde-Tschernosem aus Löß aus dem Thüringer Keuperbecken. Mit Grobporengehalten von > 7 Vol.% bis in 1,4 m Tiefe, mittleren Bodendichten und einem Nadelstichporengefüge bestehen günstige Bedingungen für die Durchwurzelung. Bedingt durch den für Lössböden überdurchschnittlich hohen Tongehalt liegt der nutzbare Bodenwassergehalt des schluffig-lehmigen Substrates mit 9,3 bis 15,5 Vol.% (FK bei pF 2,0) nur auf mittlerem Niveau. Aufgrund der nahezu uneingeschränkten Durchwurzelbarkeit stehen den tiefer wurzelnden Kulturen bei einer effektiven Durchwurzelungstiefe von 1,6 m trotzdem bis zu 220 mm nutzbares Bodenwasser zur Verfügung.

Der Versuchsstandort liegt klimatisch im mitteldeutschen Trockengebiet mit einer vieljährigen Jahresniederschlags-summe von 552 mm und einer vieljährigen Jahresdurchschnittstemperatur von 8,2 °C.

¹ Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Naumburger Str. 98, D-07743 JENA

* Ansprechpartner: s.knoblauch@lysimeter.tll.de

Tabelle 1: Ausgewählte bodenphysikalische Kennwerte des Braunerde-Tschernosem aus Löß im Thüringer Becken.

Horizont	Tiefe cm	Körnungsart	Tongehalt %	Bodendichte g/cm ³	Groporen- volumen Vol. %	Bodenwassergehalt bei		
						pF 4,2 Vol. %	pF 2,5 Vol. %	pF 2,0 Vol. %
Ap	...25	Lu	26,6	1,33	20,5	17,5	29,2	33,0
Ah	...43	Lu		1,46	13,1	21,3	31,9	34,9
Ah-Bv	...65	Lu	29,4	1,49	9,8	27,0	34,2	36,3
Ckc ₁	...85	Lu	20,3	1,53	12,7	19,9	29,4	34,1
Ckc ₂	...150	Lu	19,2	1,63	6,9	21,1	32,1	34,7
Ckc ₃	...195	Lu	22,2	1,60	5,7	22,2	34,0	37,2

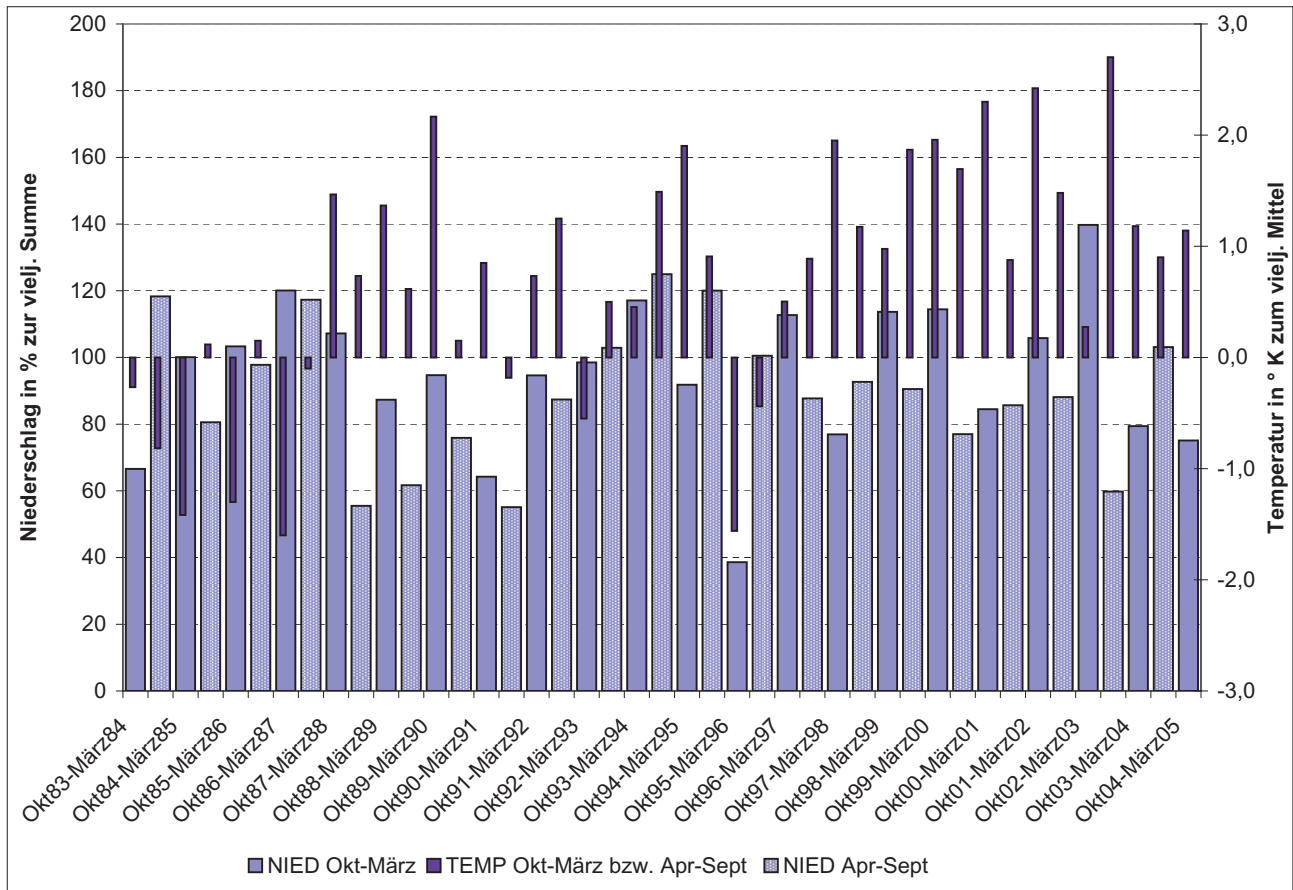


Abbildung 1: Niederschlag und Temperatur im Verlauf des Untersuchungszeitraumes 1983 bis 2004.

Die Witterung im Untersuchungszeitraum zeichnet sich in den Jahren 1984 bis 87 durch zu niedrige Temperaturen und normale Niederschläge aus (Abbildung 1). Darauf folgt in den Jahren 1988 bis 1992 eine zu warme und ausgesprochen trockene Witterung. Diese Periode wird abgelöst durch eine zu warme und überdurchschnittlich feuchte Witterung in den Jahren 1993 bis 1995. Im darauffolgenden Jahr 1996 ist es deutlich zu kühl und zu trocken. Daran schließt sich bis 2004 eine überdurchschnittlich warme Periode mit fast durchgängig zu trockenen Sommerhalbjahren und wechselnd zu trockenen (4 a) und zu feuchten (5 a) Winterhalbjahren. Die Feldlysimeter der Versuchsanlage Buttstedt weisen eine Oberfläche von 2 m² und eine Tiefe von 2,5 m auf, sind monolithisch befüllt und kontinuierlich wägbare mit einer Genauigkeit von 0,05 mm (ROTH et al. 1994). Das Sickerwasser wird zur Vermeidung von unnatürlich hohem

kapillarem Aufstieg in 2,3 m Tiefe mit Hilfe von keramischen Saugkerzen unter Einwirkung von Unterdruck gewonnen. Die Bodenfeuchtemessung erfolgt mit Hilfe einer Am/Be-Neutronen-sonde in 20 cm-Tiefenabstufungen bis in 200 cm Tiefe in vierzehntägigem bis wöchentlichem Rhythmus während der Vegetationszeit. Der geringste Wert der Bodenfeuchte, der in Jahren mit starker Inanspruchnahme des Bodenwassers gemessen wird liegt in etwa im Bereich des Bodenwassergehaltes bei pF 4,2 und der höchste Wert, der nach Abfluss größerer Sickerwassermengen ermittelt wird im Bereich von pF 2,5 (Abbildung 3). Eine Überprüfung der mit der Neutronen-sonde für den Boden des Lysimeters ermittelten Bodenfeuchteänderung mit der im gleichen Zeitraum mit Hilfe der Lysimeterwägung ermittelten Gewichtsänderung ergab eine tolerierbare Abweichung von nur 0,2 mm/d.

Die Bodenfeuchteausschöpfung der Ackerkulturen wurde auf den Feldlysimetern und dem umgebenden Feldschlag, auf dem die Lysimeter gewonnen worden sind, gemessen.

Auf den Feldlysimetern wurden ebenso wie auf dem umgebenden Feldschlag von 1990 bis 1993 die Ackerkulturen Welsches Weidelgras, Kartoffel, Winterweizen und Silomais angebaut und 1994 Brachebewuchs mit Unkraut bzw. Phacelia etabliert. Darauf folgen auf den Feldlysimetern bis 2004 Feldgemüsekulturen, ausgenommen 1998 mit Winterraps. Auf dem umgebenden Feldschlag wird bis 2004 Ackernutzung fortgesetzt mit der Anbaufolge Ackerbohne, Winterweizen, Sommergerste, Winterraps, Winterweizen, Sommergerste, Winterweizen, Winterraps, Winterweizen, Sommerweizen und Sommergerste.

Ergebnisse

Erträge

Die Erträge von Welschem Weidelgras und Kartoffel in den trockenen Jahren 1990 und 1991 liegen im mittleren Bereich und erreichen nur 70 und 76 % der mit Zusatzwasser versorgten Lysimeter. Bei Winterweizen im trockenen Jahr 1992 fällt der Ertragsabfall im Vergleich zur berechneten Variante mit 93 % nur gering aus. Im niederschlags- und temperaturnormalen Jahr 1993 erzielt Silomais einen ebenso hohen Ertrag wie unter Berechnung. Die auf dem umgebenden Feldschlag in den Jahren 1995 bis 2004 ermittelten Erträge von Ackerbohne, Silomais, Zuckerrübe, Eliteweizen, Sommergerste und Winterraps sind als mittel bis hoch einzustufen. Eine Abhängigkeit vom Ertragsfaktor Wasser ist hier nicht geprüft worden.

Verlauf der Tiefe der Bodenfeuchteausschöpfung

Winterraps beginnt während des Entwicklungsstadiums Ende Knospe/ Anfang Blüte Bodenwasser unterhalb 50 cm Tiefe zu erschließen (Abbildung 2). In den Jahren 1995 und 1998 mit einem frühen Vegetationsbeginn wird dieser Zeitpunkt bereits Mitte bis Ende April erreicht, im Jahr 2003 nach einem temperaturnormalen Winter mit einem zu kühlen Februar (-2,2 K) erst Anfang Mai. Darauf folgt eine ausgesprochen rasche Inanspruchnahme des Bodenwassers bis in 200 cm Tiefe, insbesondere in den Jahren 1998 und 2003 mit z.T. sehr trockener Witterung in der Vegetationszeit. Im Jahr 1995 geht dieser Prozess deutlich langsamer vonstatten,

vermutlich aufgrund ausreichender Wasserversorgung über Niederschläge während der gesamten Wachstumszeit.

Winterweizen beginnt Anfang bis Mitte Mai während der Entwicklungsphase Beginn Schossen, kurz nach Bestandesschluss Bodenwasser unterhalb 50 cm Tiefe aufzunehmen. In den Jahren 1992 und 1999 mit trockener Witterung im April und Mai setzt daraufhin eine rasche Tiefenausschöpfung ein, die in den Jahren 1996 und 2004 mit ergiebigen Niederschlägen im Mai länger andauert aber unter der daraufhin folgenden trockenen Witterung im Juni auch 1996, wie 1992, 1999 und 2001 bis in 200 cm Tiefe reicht. Unter den durchgängig feuchten Bedingungen im Jahr 2004 bestand dieses Erfordernis offenbar nicht.

Zuckerrübe nimmt nach einer langsamen Jugendentwicklung ab Mitte bis Ende Juni, kurz vor Bestandesschluss in den Jahren 1992 und 1994 Bodenwasser unterhalb 50 cm Tiefe in Anspruch. Daraufhin folgt, ebenso wie bei Winterraps, eine rasche Erschließung des Unterbodenwassers bis in 200 cm Tiefe, trotz ergiebiger Niederschläge in den Monaten Juli und August in beiden Jahren und im Monat September im Jahr 1994. In beiden Jahren war allerdings der Juni sehr trocken und hat diesen raschen Tiefgang möglicherweise initiiert. Natürlich aufwachsender Unkrautbewuchs im Jahr 1994 mit den Hauptbestandbildnern Windenknöterich, Klettenlabkraut, Schwarzer Nachtschatten und Weißer Gänsefuß entzieht Bodenwasser unterhalb 50 cm Tiefe ab Anfang bis Mitte Juni, deutlich vor Bestandesschluss, der erst Mitte Juli erreicht wird. Eine gezielte Begrünung mit Phacelia mit Aussaat Ende April ist dazu bereits Ende Mai kurz vor Bestandesschluss in der Lage. Phacelia vermag daraufhin das Bodenwasser bis in 200 cm Tiefe ähnlich wie Zuckerrübe sehr rasch zu erschließen trotz niederschlagsreicher Bedingungen von Juli bis September, aber sehr trockener Witterung während der Jugendperiode im Juni. Unkrautbewuchs erreicht eine Entzugstiefe von 170 cm.

Sommergerste beginnt Bodenwasser unterhalb 50 cm Tiefe ab Mitte bis Ende Mai, kurz nach Bestandesschluss und Entfaltung des Fahnenblattes aufzunehmen und setzt den Bodenwasserentzug bis in 170 cm Tiefe fort.

Silomais erschließt das Bodenwasser unter 50 cm Tiefe im Jahr 1995 ab Mitte Juni während des 9-Blatt-Stadiums und setzt die Bodenwasserausschöpfung unter wechselnd feuchten (Mai bis Juli) und trockenen (August) Bedingungen bis Anfang September bis in 130 cm Tiefe fort.

Ackerbohne nimmt das Bodenwasser unterhalb 50 cm Tiefe ab Mitte Mai, kurz vor Bestandesschluss auf und erreicht bis

Tabelle 2: Erträge (Hauptprodukt) der Ackerkulturen in dt/ha Trockenmasse in der Fruchtfolge 1990 bis 2004 und zusätzlich auf einem weiteren benachbarten Feldschlag 1992 und 1995.

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
	Kart	WiWei	Silomais	Unkr/ Phac	Aboh	WiWei	SoGe	WiRa
135/ 192 ¹	47/ 62 ¹	67/ 72 ¹	199/ 189 ¹	35/ 58 ¹	42	59	58	38
1999	2000	2001	2002	2003	2004	benachbar.	1992	1995
WiWei	SoGe	WiWei	SoWei	WiRa	WiWei	Feldschlag	ZuRü	Silomais
75	64	76	76	42	81		157	208

¹ Erträge der Feldlysimeter unberechnet/ berechnet 1990 bis 1993, Bewuchs mit Unkraut/ Phacelia 1994; Kart...Kartoffel, WiWei...Winterweizen (Elitesorten), Aboh...Ackerbohne, SoGe...Sommergerste, WiRa...Winterraps, SoWei...Sommerweizen, ZR...Zuckerrübe

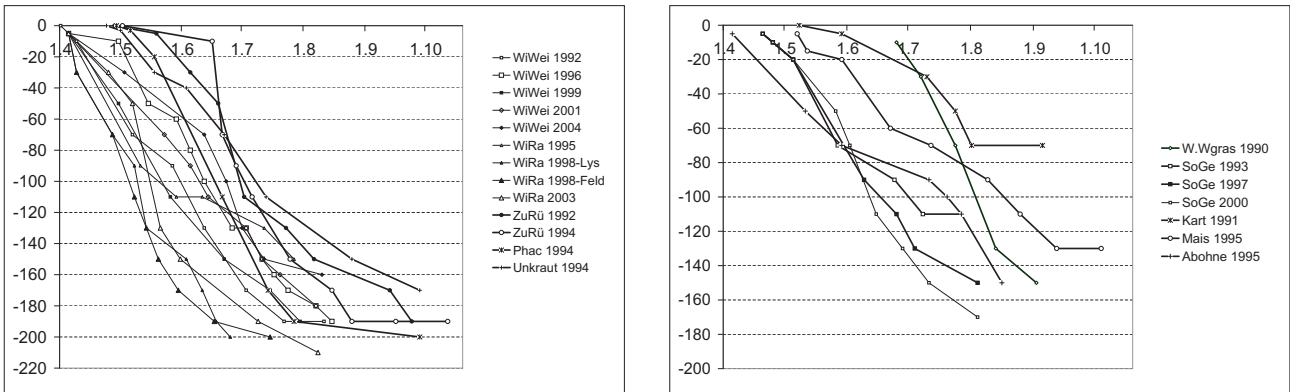


Abbildung 2: Verlauf der Tiefe der Bodenwasserausschöpfung durch Ackerkulturen in cm während der Vegetationszeit vom 1. April bis 30. Oktober.

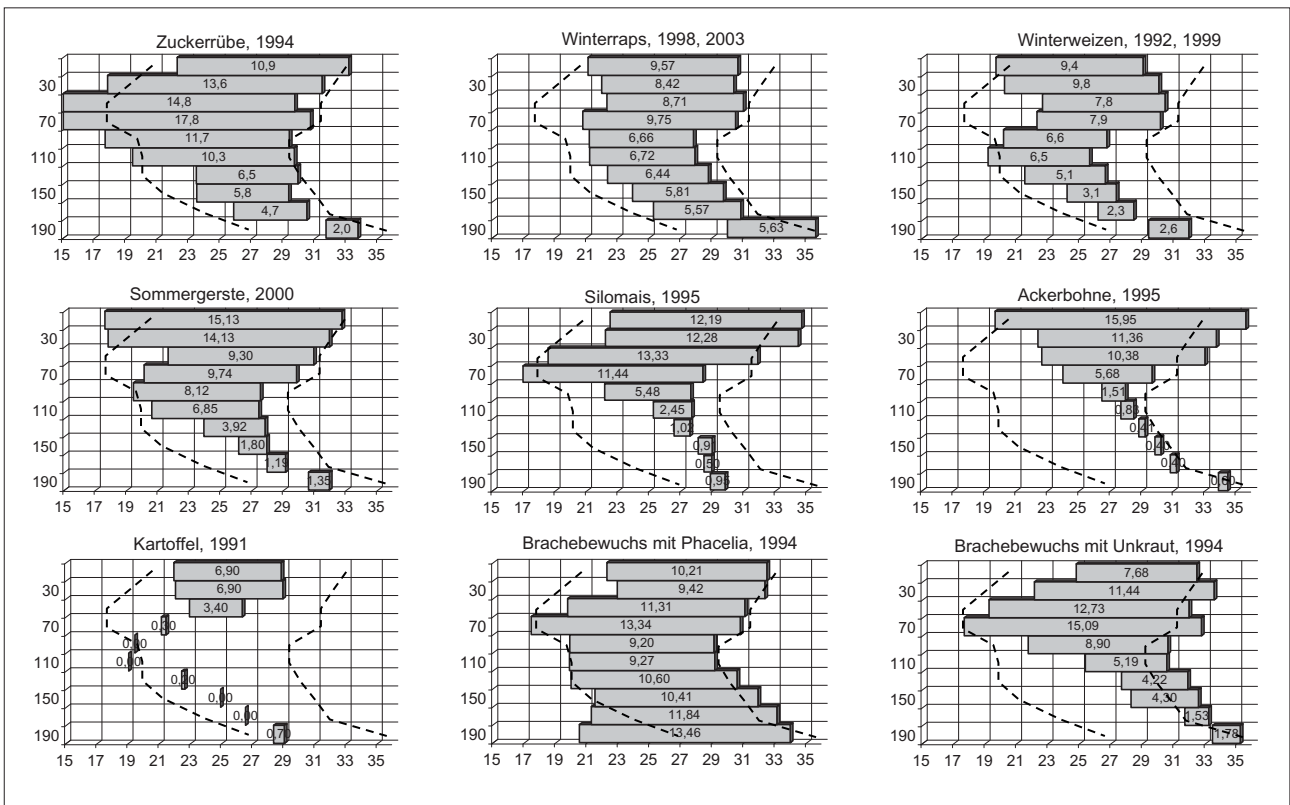


Abbildung 3: Intensität der Bodenwasserausschöpfung in den einzelnen Bodenschichten (0...20, 20...200 cm Tiefe) in Vol.%, unterbrochene Linien PWP und FK, abgeleitet aus langjährigen Bodenfeuchtemessungen mit der Neutronensonde.

zur Ernte unter dem Einfluss niederschlagsreicher Witterung im Jahr 1995 einen maximalen Tiefgang von 150 cm.

Welsches Weidelgras zeigt unter den extrem trockenen Bedingungen im Jahr 1990 eine Tiefenausschöpfung bis in 130 cm Tiefe. Die Messungen begannen erst nach dem 2. Schnitt, der Zeitpunkt des Zugriffs auf das Unterbodenwasser kann deshalb nicht ausgewiesen werden. Kartoffel nimmt Bodenwasser unterhalb 50 cm Tiefe im extrem trockenen Jahr 1991 ab Ende Juli, während der Blüte in Anspruch und setzt die Tiefenausschöpfung nur bis in 70 cm Tiefe fort. Ein weiterer Tiefgang war offenbar aufgrund der geringen Anfangswassergehalte des Unterbodens infolge

nicht vollständiger Auffüllung des Bodenwasserspeichers nicht möglich (Abbildung 3).

Intensität der Bodenwasserausschöpfung

Unter niederschlagsnormalen Bedingungen stehen im Zeitraum von Oktober bis März aus der Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung (Lysimetermessungen im Mittel der Jahre 1983 bis 2004 mit 16 a Brache und 6 a Winterkulturen) nur 110 mm für die Wiederauffüllung des Bodenwasserspeichers zur Verfügung. In der Ackerbau-Fruchtfolge von 1990 bis 2004 ist der Bodenwasserspeicher zu Vegetationsbeginn in elf von fünfzehn Jahren nicht aufgefüllt.

Im Folgenden werden nur diejenigen Jahre dargestellt, in denen die Pflanze zu Vegetationsbeginn einen weitgehend aufgefüllten Bodenwasserspeicher vorfindet und während der Wachstumszeit möglichst trockene Witterungsverhältnisse vorherrschen, um die größtmöglichen Ausschöpfungsbeträge an Bodenwasser darstellen zu können (*Abbildung 3*).

Unter der Bedingung eines weitgehend aufgefüllten Bodenwasserspeichers zeigt sich folgende Reihenfolge der Intensität der Bodenwasserausschöpfung in mm : Zuckerrübe 196 > Phacelia 218 > Winterraps 146 > Winterweizen 122 = Sommergerste 138 > Unkrautbewuchs 146 > Silomais 121 > Ackerbohne 95 > Kartoffel 37 mm.

Zuckerrübe nimmt das Bodenwasser in der oberen 120 cm-Bodenzone bis über den PWP hinaus vollständig in Anspruch und in der darunter liegenden Bodenzone bis in 200 cm Tiefe bis auf 40 % nFK (*Abbildung 3*).

Winterraps schöpft zwar die obere Bodenzone bis in 120 cm Tiefe mit einem Restwassergehalt von 20 % nFK nicht vollständig aus, vermag aber die darunter liegenden Bodenschichten bis in 200 cm Tiefe bis auf 30 % nFK in Anspruch zu nehmen, etwas stärker als *Zuckerrübe*.

Winterweizen senkt den Bodenwassergehalt in der oberen 120 cm-Zone bis auf 20 % nFK und darunter bis auf 35 % nFK. Es zeigt sich eine leichte Depression im Bereich des Ah-Bv-Horizontes in 50 bis 70 cm Tiefe, vermutlich aufgrund der dort höheren Bodendichten und geringeren Grobporengehalte.

Sommergerste zeigt unter gleichen Bedingungen (weitgehende Auffüllung des Bodenwasserspeichers, trockene Witterung während der Vegetationszeit) ein ähnliches Entzugsverhalten, allerdings mit geringerer Beanspruchung des Bodenwassers unterhalb 120 cm Tiefe. Die *Abbildung 3* zeigt des Weiteren, dass *Winterweizen* weder 1992 und 1999, viel weniger noch in den anderen vier Jahren (hier nicht dargestellt) ein vollständig aufgefülltes Bodenwasserreservoir vorfindet. Das ist unter den klimatischen Bedingungen im Trockengebiet auch die Folge der häufigen Fruchtfolgestellung nach *Winterraps*.

Silomais schöpft das Bodenwasser im Jahr 1995 unter dem Einfluss übernormaler Niederschläge bis in 80 cm Tiefe fast

vollständig aus (10 % nFK) und darunter bis in 120 cm Tiefe bis auf 50 % nFK. *Ackerbohne* eignet sich das Bodenwasser unter den gleichen Witterungsbedingungen im Jahr 1995 in der oberen 80 cm-Bodenzone bis auf 30 % nFK an, darunter bis in 100 cm Tiefe nur noch wenig.

Davon deutlich abgesetzt vermag *Kartoffel* das Bodenwasser der oberen 60 cm-Bodenzone bis auf 25 % nFK auszuschöpfen, einer Beanspruchung tieferer Bodenzone sind aufgrund sehr geringer Anfangs-Bodenfeuchtegehalte im Jahr 1991 Grenzen gesetzt.

Ein beträchtliches Aneignungsvermögen von Bodenwasser zeigt *Phacelia*. Innerhalb einer kurzen Wachstumszeit von 118 d (im Vergleich dazu *Kartoffel* 105 d) wird der gesamte pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher bis in 200 cm Tiefe entleert. Auch *Selbstbegrünung mit Unkraut* führt zu einer beträchtlichen Inanspruchnahme von Bodenwasser, vergleichbar der unter *Winterweizen*.

Schlussfolgerung

Unter der Bedingung knappen Wasserdargebotes gilt es das Potenzial der Pflanze zur Ausnutzung von Bodenwasser optimal zu nutzen durch eine geeignete Stellung in der Fruchtfolge. Tiefer wurzelnde Kulturen wie *Winterraps*, *Zuckerrübe* und *Winterweizen* vermögen auf tiefgründigen Lehmböden Bodenwasser unterhalb 150 cm Tiefe aufzunehmen. Nach Anbau von Kulturen mit mittlerem Wurzeltiefgang und zudem geringeren Wasserbedarf, wie z.B. *Silomais* steht ihnen dieses Reservoir noch zur Verfügung. Umgekehrt sind Kulturen mit mittlerem Wurzeltiefgang nach tiefer wurzelnden Kulturen nicht sehr stark benachteiligt, weil sie das tiefere Bodenwasserreservoir ohnehin kaum nutzen können. Tieferwurzelnde Arten mehrere Jahre hintereinander schränken sich in ihrem Potenzial zur Aufnahme von Tiefenwasser ein. *Winterraps* scheint im Unterschied zu *Zuckerrübe* und *Winterweizen* mehr Bodenwasser im Oberboden zurückzulassen zugunsten eines stärkeren Tiefgangs. Sollte sich diese Beobachtung bestätigen ist *Winterraps* eine günstige Vorfrucht für flacher wurzelnde und intensiver den Oberboden ausschöpfende Kulturen.